9

Responsabilidades de la competencia*

Durante nuestro último simposio anual presenté un teorema al que Stafford Beer se refirió en una ocasión ulterior como el "teorema número uno de Heinz von Foerster". Ese teorema postulaba que:

Cuanto más profundo es el problema ignorado, mayores son las oportunidades para la fama y el éxito.

Construyendo sobre una tradición que cuenta por ahora con un solo elemento, les presentaré de nuevo un teorema al que, con toda modestia, llamaré el "teorema número dos de Heinz von Foerster". Postula lo siguiente:

Las ciencias duras tienen éxito porque se ocupan de problemas blandos; las ciencias blandas se las ven en figurillas porque se ocupan de problemas duros.

Si se observa con atención podrán descubrir que el teorema 2 podría servir como corolario al teorema 1. Esto resultará obvio si contemplamos por un instante el método de indagación empleado por las ciencias duras. Consiste en que si un sistema es demasiado complejo para ser comprendido es dividido en partes más pequeñas. Si ellas resultan aún demasiado complejas son, a su vez, divididas en partes aun más pequeñas, y así sucesivamente, hasta que las partes son tan pequeñas que al menos una parte puede ser comprendida. Lo fantástico de este proceso, del método de reducción, del "reduccionismo", es que lleva inevitablemente al éxito.

Desafortunadamente, las ciencias blandas no están bendecidas con condiciones tan favorables. Consideremos, por ejemplo, al sociólogo, al

* Este artículo es una adaptación de la presentación inaugural en la Conferencia de Otoño de la Sociedad Norteamericana de Cibernética, el 9 de diciembre de 1971 en Washington, D. C. Fue publicado originalmente en: *Journal of Cybernetics*, 1972, 2 (2), págs. 1-6.

psicólogo, al antropólogo, al lingüista, etcétera. Si ellos redujeran la complejidad de los sistemas de su interés, es decir, la sociedad, la psiquis, la cultura, el lenguaje, etcétera, dividiéndolos en partes más pequeñas para poder después inspeccionarlas, no serían pronto capaces de reclamar que se están ocupando del sistema que originalmente eligieron. Esto es así porque estos científicos se ocupan de sistemas esencialmente no-lineales cuyos fenómenos más notorios son *interacciones* entre lo que podríamos llamar sus "partes", cuyas propiedades tomadas aisladamente agregan poco o nada a la comprensión del trabajo de esos sistemas cuando cada uno de ellos es tomado como un todo. Por tanto, si el científico que trabaja en las ciencias blandas desea permanecer en el campo de su elección, se enfrenta con un problema formidable: en primer lugar, no debe perder de vista toda la complejidad de su sistema; en segundo lugar, se está volviendo cada vez más urgente resolver sus problemas. No digo esto tan sólo por quedar bien con ellos. Se ha hecho ahora muy claro que sus problemas nos conciernen a todos. La "corrupción de nuestra sociedad", los "disturbios psicológicos", la "erosión cultural", la "ruptura de la comunicación", y todas las otras "crisis" de hoy son problemas tanto suyos como nuestros. ¿Cómo podemos contribuir a su solución?

Mi sugerencia es que apliquemos la *competencia* lograda en las ciencias duras —y no el método de reducción— a la solución de los problemas duros de las ciencias blandas. Me apresuro a agregar que esta sugerencia no es de ningún modo nueva. De hecho lo que postulo es que la *cibernética* es, precisamente, la disciplina que está en la interface entre la competencia en ciencias duras y los duros problemas de las ciencias blandas. Aquellos de nosotros que presenciamos el desarrollo temprano de la cibernética podemos recordar muy bien que antes de que Norbert Wiener creara ese nombre para nuestra ciencia se hablaba de ella como del estudio de los "mecanismos de causación circular y retroalimentación en sistemas biológicos y sociales", descripción que continuó incluso años después de que él escribiera su famoso libro. Por supuesto que en su definición de la cibernética como la "ciencia de la comunicación y el control en el animal y en la máquina", Norbert Wiener dio un paso más allá en la generalización de estos conceptos, y hoy en día la "cibernética" ha llegado a ser, en última instancia, la ciencia de la *regulación* en su sentido más general.

¿Por qué es que, siendo que nuestra ciencia posee, realmente, una noción general y comprehensiva, no tenemos, a diferencia de la mayor parte de nuestras ciencias hermanas, un santo patrón o una deidad que nos dispense favores en nuestra búsqueda de nuevo entendimiento, y que proteja también a nuestra sociedad de los males tanto exteriores como interiores? Los astrónomos y los físicos son cuidados por Urania; Deméter

patrocina a la agricultura; y varias musas ayudan a las diferentes artes y ciencias. ¿Pero quién ayuda a la cibernética?

Una noche, mientras sopesaba esta cuestión cósmica, tuve una aparición. No era una de las encantadoras diosas que bendicen a las otras artes y ciencias. Era claro que esa divertida criaturita sentada en mi escritorio debía ser un demonio. Después de un rato comenzó a hablar. Efectivamente, yo tenía razón. Dijo: "Yo soy el demonio de Maxwell". Y luego desapareció.

Cuando logré recuperar mi compostura se me hizo claro, inmediatamente, que ningún otro que no fuera ese respetable demonio podría ser nuestro patrón, porque el demonio de Maxwell es *el paradigma de la regulación.*

Como ustedes recordarán, el demonio de Maxwell regula el flujo de moléculas entre dos compartamientos de un modo muy *antinatural*, a saber, haciendo que el calor fluya del compartimiento más frío al más caliente, oponiéndose al curso natural de los acontecimientos ya que, sin la intereferencia del demonio, el calor fluiría siempre del compartimiento más caliente al más frío.

Con seguridad también recordarán cómo es que él procede: cuida de una pequeña abertura entre los dos compartimientos y la abre para dejar pasar una molécula siempre que una rápida se aproxime desde el lado frío o una lenta desde el lado caliente. En cualquier otro caso mantiene la abertura cerrada. Resulta obvio que, con esta maniobra, él hace que el compartimiento frío se vuelva más frío, y el caliente más caliente, contradiciendo así, aparentemente, a la Segunda Ley de la Termodinámica. Ahora sabemos que, por supuesto, aunque el demonio tenga éxito en mantener ese extraño flujo de calor, la segunda ley se mantiene inexorable. Ello se debe a su necesidad de un haz de luz para poder determinar la velocidad de las moléculas que se aproximan a la abertura. Si el demonio estuviera en equilibrio térmico con uno de los compartimientos, no podría ver nada: sería parte de un cuerpo negro. Dado que él puede hacer sus travesuras sólo hasta que dure la batería de su haz de luz, debemos incluir en el sistema que tenga a un demonio activo no solamente la energía de los dos compartimientos, sino también la de la batería. La entropía ganada por la batería al gastarse no es compensada completamente por la neguentropía ganada por el incremento de la disparidad entre los dos compartimientos.

La moraleja de esta historia es, simplemente, que aunque nuestro demonio no puede burlar a la segunda ley puede, por medio de su actividad regulatoria, retardar la degradación de la energía disponible, es decir, el crecimiento de la entropía, hasta una tasa arbitrariamente baja.

Esta es, en verdad, una observación muy significativa porque demuestra la importancia fundamental de los mecanismos regulatorios en los

organismos vivientes. Ellos pueden ser vistos, en este contexto, como manifestaciones del demonio de Maxwell, retardando continuamente la degradación del flujo de energía, es decir, retardando el incremento de entropía. En otras palabras, los organismos vivientes, en tanto reguladores, son "retardadores de entropía".

Más aun, como voy a demostrar en un momento, el demonio de Maxwell es no solamente un retardador de entropía y un paradigma de regulación, sino que es también un isomorfismo funcional de una máquina universal de Turing. Así es como los tres conceptos de regulación, retardo de entropía y computación constituyen una red conceptual entrelazada que, para mí, es realmente la esencia de la cibernética.

Voy ahora a justificar brevemente mi afirmación de que el demonio de Maxwell es no solamente el paradigma de la regulación sino también el de la computación.

Cuando uso el término "computación" no me estoy restringiendo a operaciones específicas como, por ejemplo, la suma, la multiplicación, etcétera. Deseo interpretar la "computación" en el sentido más general como un mecanismo, o "algoritmo", para *ordenar*. La representación ideal o, debiera decir, más general, de tal mecanismo es, por supuesto, una máquina de Turing, y usaré esa máquina para iluminar algunos de los puntos que deseo señalar.

Hay dos niveles a los cuales podemos referirnos cuando pensamos en "ordenar". Uno tiene que ver con nuestro deseo de hacer una descripción de un ordenamiento dado de cosas. El otro con nuestro deseo de reordenar cosas de acuerdo con ciertas descripciones. Resulta inmediatamente obvio que ambas operaciones constituyen, en verdad, los fundamentos para todo aquello que llamamos "computación".

Sea A un ordenamiento particular. Este ordenamiento puede entonces ser computado por una máquina universal de Turing partiendo de una expresión inicial posible en la cinta a la que llamaremos una "descripción" de A: $D(A)$. La longitud $L(A)$ de esta descripción dependerá del alfabeto (lenguaje) utilizado. De allí que podamos decir que un lenguaje a_1 revela más orden en el ordenamiento A que otro lenguaje a_2, si y sólo si la longitud $L_1(A)$ de la descripción inicial posible de la cinta para computar A es más breve que $L_2(A)$, o *mutatis mutandis*.

Lo dicho pertenecería al primer nivel mencionado anteriormente, y nos lleva inmediatamente al segundo nivel.

De todas las descripciones iniciales posibles de la cinta para un ordenamiento A_1 hay una que es la más breve: $L^*(A_1)$. Si A_1 es reordenada para dar A_2, se dice que A_2 es de un orden superior a A_1 si y sólo si la descripción inicial más breve de la cinta $L^*(A_2)$ es más breve que $L^*(A_1)$, o *mutatis mutandis*.

Esto pertenecería al segundo nivel mencionado anteriormente, y nos lleva a una expresión final de orden perfecto (computación).

De todos los ordenamientos A_1 hay uno A^*, para el cual la descripción inicial posible de la cinta es la más breve $L^*(A^*)$.

Espero que con estos ejemplos se haya hecho claro que los organismos vivientes (remplazando ahora a la máquina de Turing), interactuando con su ambiente (ordenamientos), tienen varias opciones a su disposición:

(i) pueden desarrollar "lenguajes" (sensores, códigos neurales, órganos motrices, etcétera) que se "adapten" mejor al ambiente que les es dado (que revelen más orden);

(ii) pueden cambiar a su entorno hasta que se "adapten" a su constitución; y

(iii) pueden hacer ambas cosas.

Sin embargo, es importante destacar que cualquiera que sea la opción que elijan, sería realizada por computación. Debo ahora demostrar que esas computaciones son realmente funcionalmente isomorfas con la actividad del demonio.

La función esencial de una máquina de Turing puede ser descrita por cinco operaciones:

(i) *Lea* el símbolo de entrada x.
(ii) *Compare* x con z, el estado interno de la máquina.
(iii) *Escriba* el símbolo apropiado de salida y.
(iv) *Cambie* el estado interno z al nuevo estado z'.
(v) *Repita* la secuencia anterior con un nuevo estado de entrada x'.

Similarmente, la función esencial del demonio de Maxwell puede ser descrita por cinco operaciones equivalentes a las anteriores:

(i) *Lea* la velocidad v de la molécula M que se aproxima.
(ii) *Compare* $(mv^2/2)$ con la energía $<mv^2/2>$ (temperatura T) de, por ejemplo, el compartimiento más frío (estado interno T).
(iii) *Abra la abertura si* $(mv^2/2)$ es mayor que $<mv^2/2>$; si no déjela cerrada.
(iv) *Cambie* el estado interno T al nuevo estado (más frío) T'.
(v) *Repita* la secuencia anterior con una nueva molécula que se acerca M'.

Dado que la equivalencia de los términos entre los puntos correspondientemente rotulados es obvia, con la presentación de estas dos listas he completado mi demostración.

¿Cómo podríamos utilizar nuestra verificación de que la cibernética es la ciencia de la regulación, de la computación, del ordenamiento y del retardo de la entropía? Podríamos, por supuesto, aplicar nuestra verificación al sistema que es, en general, aceptado como la *cause célèbre* de la regulación, la computación, el ordenamiento y el retardo de la entropía, a saber, el cerebro humano.

En lugar de seguir los pasos de los físicos que ordenan sus problemas de acuerdo con el número de *objetos* involucrados ("el problema del cuerpo único", "el problema de los dos cuerpos", "el problema de los tres cuerpos", etcétera), ordenaré nuestros problemas de acuerdo con el número de *cerebros* involucrados, discutiendo a continuación "el problema del cerebro único", "el problema de los dos cerebros", "el problema de múltiples cerebros", y "el problema de todos los cerebros".

1. El problema del cerebro único: las ciencias del cerebro.

Resulta evidente que si las ciencias del cerebro no quieren degenerar en una física o en una química de los tejidos vivientes —o que alguna vez han estado vivos—, deben desarrollar una teoría del cerebro: $T(C)$. Pero, por supuesto, esta teoría debe ser escrita con un cerebro: $C(T)$. Lo cual significa que esa teoría debe ser construida de modo tal que se escriba a sí misma: $T(C(T))$.

Tal teoría deberá ser diferente en un sentido fundamental a, digamos, la física, que se ocupa de una descripción (no demasiado) con éxito de un "mundo sin sujetos" en el cual el observador mismo no se supone que tenga un lugar. Lo dicho me lleva a formular ahora mi teorema número tres:

Las leyes de la naturaleza son escritas por el hombre. Las leyes de la biología deben escribirse a sí mismas.

Resulta tentador, para refutar este teorema, invocar la prueba de Gödel acerca de los límites del "*Entscheidungproblem*", en los sistemas que intentan referirse a sí mismos. Pero Lars Lofgren y Gotthard Gunther han demostrado que la autoexplicación y la autorreferencia son conceptos que se sostienen a pesar de los argumentos de Gödel. Yo afirmo, en otras palabras, que una ciencia del cerebro en el sentido antedicho es, en verdad, una ciencia legítima con un problema legítimo.

2. El problema de los dos cerebros: educación.

Resulta bien claro que la mayor parte de nuestros esfuerzos educativos instituidos está dirigida a la trivialización de nuestros niños. Estoy

usando el término "trivialización" tal como se usa en teoría de los autómatas, en la cual una máquina trivial se caracteriza por tener una relación fija entrada-salida (*input-output*), mientras que en una máquina no-trivial (máquina de Turing) la salida (*output*) está determinada por la entrada (*input*) y por su estado interno. Dado que nuestro sistema educativo está orientado a generar ciudadanos predecibles, su objetivo es eliminar los estados internos perturbadores que generan impredictibilidad y novedad. Esto se vuelve claramente evidente en nuestro método de evaluación en el cual solamente se hacen preguntas para las cuales las respuestas son conocidas (o están definidas) y deben ser memorizadas por el estudiante. Llamaré a estas "preguntas ilegítimas".

¿No sería fascinante pensar en un sistema educacional que destrivialice a sus estudiantes enseñándoles a hacer "preguntas legítimas", es decir, preguntas para las cuales las respuestas son desconocidas?

3. El problema de múltiples cerebros: sociedad.

Está claro que nuestra sociedad sufre de una severa disfunción. Esto se siente dolorosamente, a nivel del individuo, como apatía, desconfianza, violencia, desconexión, impotencia, alienación, etcétera. Yo llamo a esto una "crisis participativa", porque excluye al individuo de su participación en el proceso social. La sociedad se convierte en el "sistema", el "*establishment*" o lo que sea, un despersonalizado ogro kafkiano producto de su propia mala voluntad.

No es difícil darse cuenta que la causa esencial de esta disfunción es la ausencia de un canal (*input*) adecuado para que el individuo interactúe con la sociedad. Los así llamados "canales de comunicación", los "medios masivos" son unidireccionales: hablan, pero nadie puede responderles. Falta el bucle de retroalimentación y de allí que el sistema está fuera de control. Lo que la cibernética puede ofrecer es, por supuesto, un instrumento de canalización (*input*) social universalmente accesible.

4. El problema de todos los cerebros: humanidad.

Resulta evidente que la característica más perturbadora del sistema global "humanidad" es su demostrada inestabilidad, así como el hecho de estarse acercando rápidamente hacia una singularidad. En la medida en que la humanidad se trata a sí misma como si fuera un sistema abierto ignorando las señales de sus sensores, que le están informando de su propia situación, nos aproximaremos hacia esa singularidad sin descanso. (Ulti-

mamente he empezado a preguntarme si la información acerca de su propio estado no podría llegar a todos los elementos a tiempo para actuar si ellos decidieran escuchar en vez de pelear.)

La meta es clara: debemos cerrar el sistema para poder alcanzar una población estable, una economía estable, y para tener recursos estables. Si bien el problema de construir una "servo-población" y una "servo-economía" puede ser resuelto con los recursos mentales de este planeta, para poder lograr la estabilidad de nuestros recursos materiales estamos obligados por la segunda ley de la termodinámica a volvernos hacia fuentes extraplanetarias. Aproximadamente $2\text{-}10^{14}$ kilovatios de radiación solar están a nuestra disposición. Usados sabiamente, podrían dejar intactos a nuestros invalorables recursos orgánicos, terráqueos, altamente estructurados, fósiles o vivientes, para ser usados y disfrutados por incontables generaciones por venir.

Si estamos persiguiendo la fama y el éxito podemos ignorar la profundidad de estos problemas de computación, ordenamiento, regulación y retardo de la entropía. Sin embargo, ya que nosotros, en tanto cibernetistas, tenemos competencia como para atacar dichos problemas debemos poner nuestra meta por encima de la fama y del éxito yendo, sin demasiado ruido, tras su solución. Si deseamos mantener nuestra credibilidad científica, el primer paso a dar sería aplicar nuestra competencia a nosotros mismos formando una sociedad global que no sea tanto para la cibernética sino, más bien, que *funcione* cibernéticamente. Así es como yo entiendo la exhortación de Dennis Gabor: "¡Cibernetistas del mundo, uníos!" Sin comunicación, no hay regulación; sin regulación, no hay meta; y sin una meta el concepto de "sociedad" o de "sistema" se vuelve vacío.

La competencia implica responsabilidades. Un médico debe actuar en la escena de un accidente. No podemos ser más espectadores a sabiendas de un desastre global. Debemos compartir la competencia que tengamos a través de la comunicación y la cooperación trabajando juntos en los problemas de nuestro tiempo. Este es el único modo en que podamos cumplir con nuestras responsabilidades sociales e individuales en tanto cibernetistas que deben practicar lo que predican.

10

La percepción del futuro y el futuro de la percepción*

"La definición de un problema y la acción emprendida para resolverlo dependen, en gran medida, de la visión que los individuos o grupos descubridores del problema tengan del sistema del cual el problema es parte. Así es como un problema puede verse definido como una información de salida mal interpretada, o como una salida defectuosa de un circuito de salida defectuoso, o como una salida defectuosa por mal funcionamiento de un sistema por lo demás sin fallas, o como una salida correcta pero no deseada de un sistema sin fallas pero indeseable. Todas las definiciones, salvo la última, sugieren una acción correctiva; sólo la última definición sugiere un cambio y presenta, por tanto, un problema insoluble para cualquiera opuesto al cambio" (Herbert Brün, 1971) [1].

Las verdades incontestables tienen la desventaja de oscurecer la verdad, embotando los sentidos. Casi nadie se verá alarmado si se le dice que en tiempos de continuidad el futuro equivale al pasado. Sólo algunos se darán cuenta de que de esto se sigue que en tiempos de cambio socio-cultural el futuro *no* va a parecerse al pasado. Más aun, frente a un futuro no claramente percibido, no sabemos cómo actuar y sólo nos queda una certeza: si no actuamos nosotros mismos, alguien va a hacerlo por nosotros. Así es como, si deseamos ser sujetos, más que objetos, lo que vemos ahora, es decir, nuestra percepción, debe ser más una prevención que una mirada a posteriori.

Epidemia

Mis colegas y yo estamos ahora investigando los misterios del conocimiento y de la percepción. Cuando, de tanto en tanto, miramos los asuntos

* Este artículo es una adaptación de una conferencia pronunciada el 29 de marzo de 1971, en la inauguración de la Twenty-fourth Annual Conference on World Affairs, realizada en la Universidad de Colorado, Boulder, Colorado. Fue publicado originalmente con el título "Perception of the future and the future of perception" en *Instructional Science*, 1 (1), págs. 31-43 (1972).